



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 643 285 A2**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **94111433.2**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>: **G01D 5/244**

22 Anmeldetag: **22.07.94**

30 Priorität: **14.09.93 DE 4331151**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**15.03.95 Patentblatt 95/11**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE ES FR GB IT LI**

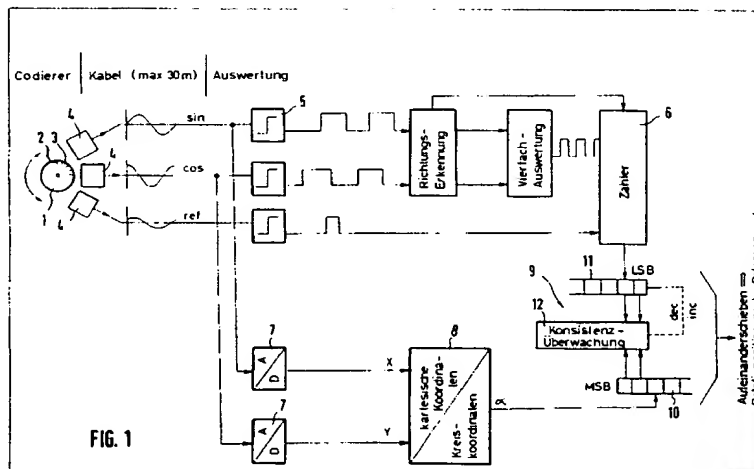
71 Anmelder: **BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH**  
**Ostendstrasse 80**  
**D-90482 Nürnberg (DE)**

72 Erfinder: **Götz, Fritz Rainer, Dr. Ing.**  
**Konrad-Adenauer-Strasse 25**  
**D-90522 Oberasbach (DE)**

74 Vertreter: **Matschkur, Götz, Lindner Patent-  
und Rechtsanwälte**  
**Postfach 11 91 09**  
**D-90101 Nürnberg (DE)**

54 **System zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers eines inkrementalen Positionsgebers.**

57 Verfahren zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers eines inkrementalen Positionsgebers oder Drehmeters/Resolvers innerhalb und/oder bezüglich eines seiner Teilungs-segmente, die periodisch von den Teilungsmarken auf dem Träger gebildet und/oder begrenzt sind, mit zwei gegenüber dem Träger ortsfest angeordneten und auf die Teilungsmarken ansprechenden Abtastelementen, die in einem derartigen, auf die Länge beziehungsweise den Umfang des Segments bezogenen Abstand voneinander angeordnet sind, daß sie zwei sinus- und cosinusartige Meßsignale ausgeben, die zur Positions-Ermittlung auf der Basis der Arkustangenz-Funktion ausgewertet werden, indem zur Korrektur der Auswertung gegenüber Störungen und Ungenauigkeiten im Positionsgeber die Werte beziehungsweise Komponenten eines den Meßvorgang identifizierenden Parametervektors verwendet werden, der während des laufenden Meßbetriebs ständig nach vorbestimmten Optimierungskriterien neu bestimmt wird.



EP 0 643 285 A2

Die Erfindung betrifft ein System, insbesondere ein Verfahren und/oder eine Vorrichtung, zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers eines inkrementalen Positionsgebers innerhalb und/oder bezüglich eines seiner Teilungssegmente, die periodisch von den vorzugsweise äquidistanten Teilungsmarken auf dem Träger gebildet und/oder begrenzt sind, wobei die Messung mit zwei gegenüber dem Träger ortsfest angeordneten und auf die Teilungsmarken ansprechenden Abtastelementen erfolgt, die einen etwa einem Viertel der Teilungssegmentlänge entsprechenden Abstand voneinander aufweisen, so daß sie näherungsweise zwei wie Sinus und Cosinus phasenverschobene Meßsignale erzeugen. Diese können dann zur Positionsermittlung mit einer Arkustangens-Funktion ausgewertet werden.

Bei bekannten zyklisch-absoluten Positionsgebern der eingangs genannten Art werden Markenteilungen (Abstand von Marke zu Marke) abgetastet, die auf einem drehbaren, rotationssymmetrischen oder linearen, längsverschiebbaren Teilungsmarken-Träger ausgebildet sein können. Die Teilung kann, wie an sich bekannt, durch magnetische und nicht-magnetische, optisch durchsichtige und undurchsichtige Segmente oder durch Zähne und Zahnücken (auf einem Zahnrad oder einer Zahnstange), die jeweils abwechselnd aufeinander folgen, realisiert sein. Am Ausgang der entsprechenden Abtastelemente erhält man eine Folge von Strom- oder Spannungsimpulsen, deren Anzahl (Inkrement) einem groben Winkel- oder Längenpositionswert entspricht.

Um die Auflösung zu erhöhen, ist es ferner bekannt (vgl. Rolf-Dieter Klug "Echtzeitsimulation mechanischer Lastsysteme zur Prüfung elektrischer Servoantriebe", Dissertation an der technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg, 1992, insbesondere Seiten 99 - 131), die Absolutposition innerhalb eines Teilungssegmentes (Inkrementes) über eine Arkus-Tangens-Funktion zu berechnen, nachdem die Sinus- und Cosinusfunktionen der Meßsignale durcheinander geteilt worden sind. In einem Mikrorechner können dann die Anzahl der gezählten Teilungsmarken bzw. -segmente und die Absolutposition zur Gesamtposition gemäß bekannter, mathematischer Beziehung kombiniert werden.

Allerdings ergibt die schlechte Signalqualität der Sinus- und Cosinusmeßsignale der bekannten Geber nach dem zyklisch-absoluten Meßprinzip, die von Schwankungen um den Nullpunkt, des Amplitudenverhältnisses und im gegenseitigen Winkelbezug herrühren, Fehler in der Meßsignalauswertung. Dies geht beispielsweise auf eine ungleichmäßige, d.h. mit Herstellungstoleranzen behaftete Verteilung der Segmente bzw. Perioden über die Länge bzw. Umfang des Teilungsmarken-Trägers, auf geringe Unterschiede in der Breite der Strichmarken auf der optischen (Teilungsträger-)Scheibe oder auf Zentrierungs- oder Führungsfehler des Markenträgers zurück. Wird z.B. eine mit einem gattungsgemäßen Positionsgeber ausgestattete Maschine warm, kann es zu exzentrischen Verlagerungen des Teilungsmarken-Trägers kommen, was die Signalauswertung bzw. Positionsermittlung verfälscht. Jedoch ist vor allem im Druckmaschinenbereich eine präzise Lageregelung mit hochauflösenden Positionsgebern unabdingbar.

Das der Erfindung zugrundeliegende Problem besteht darin, bei dem eingangs genannten Meßsystem bei physikalisch bzw. konstruktiv gleichbleibender Teilungsverkörperung eine verfeinerte Auflösung vor allem der Absolutposition zwischen zwei Teilungsmarken bzw. innerhalb eines Teilungssegmentes zu erreichen. Zur Lösung wird bei einem System mit den eingangs genannten Merkmalen erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß eine Korrektur der Auswertung gegenüber den genannten Störungen und Ungenauigkeiten im Positionsgeber durchgeführt wird, indem ein den Meßvorgang des Positionsgebers identifizierender Parametervektor generiert wird, dessen Werte zur Korrektur der Auswertung verwendet werden, wobei der Parametervektor während des Meßbetriebs ständig nach vorbestimmten Optimierungskriterien neu bestimmt wird. Alternativ wird zur Lösung eine Meßvorrichtung der eingangs genannten Art vorgeschlagen, die ein Rechensystem aufweist, das eine die Meßsignale aufnehmende Auswerteeinheit auf der Basis der Arkus-Tangens-Funktion aufweist, wobei das Rechensystem mit einer Filter- und/oder Adaptionseinheit versehen ist, die eingangsseitig parallel zur Auswerteeinheit mit den Meßsignalen und ausgangsseitig mit der Auswerteeinheit zur Übertragung von Adaptivmeßsignalen verbunden ist, die nach einer in der Adaptionseinheit implementierten Adaptionsregel abhängig von den Meßsignalen generiert werden, und wobei in der Auswerteeinheit die Adaptivmeßsignale nach einer Korrekturrechenregel mit den Meßsignalen verknüpft werden.

Mit anderen Worten, die Korrektur der eingangs genannten Meßfehler wird dadurch erreicht, daß über ein Adaptionsgesetz ein Parameter- bzw. Adaptivmeßsignal-Vektor erzeugt wird, der im laufenden Meßbetrieb kontinuierlich abgeglichen wird. Dieser Vektor wird dann zur Korrektur der Auswertung der sinus- und cosinusartigen Meßsignale verwendet. Diese Korrektur wird teilungsbezogen (z.B. bezogen auf einen Zahn) und/oder bezogen auf die Teilungsverkörperung (z.B. Zahnrad) durchgeführt, um vor allem Teilungsfehler bei der Meßsignalauswertung zu korrigieren.

Nach einer besonderen Ausbildung der erfindungsgemäßen adaptiven Korrektur des Positionsgebers mit Sinus/Cosinus-Meßsignal umfassen die Optimierungskriterien eine Adaptionsregel, die insbesondere nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrates und/oder einem Gradienten-Verfahren, gegebenenfalls mit

Empfindlichkeitsanalyse strukturiert ist; damit läßt sich der Parametervektor on-line zum laufenden Meßbetrieb abgleichen bzw. an den aktuellen Meßprozeß, vor allem die einzelnen Teilungssegmente, anpassen. Optimierungsverfahren oder -algorithmen wie Gradienten-Methoden, systematische Suchmethoden oder zufällige Suchmethoden sowie die Beurteilung des dynamischen Verhaltens realer Systeme durch Parameterempfindlichkeits-Analyse sind an sich bekannt (vgl. "adaptive Regelsysteme", Heinz Unbehauen, Studie bzw. Vorlesung an der Universität Stuttgart, 1971/1975, insbesondere die Seiten 15 - 26).

Mit Vorteil wird parallel zum laufenden Meßbetrieb ein parametrisiertes, algorithmisches Modell von dem Meßvorgang erstellt und anhand der korrigierten Positionswerte und/oder des Parameter-Adaptivmeßsignal-Vektors laufend aktualisiert. Dessen Ausgangswerte können dann zur Optimierung mit den Meßsignalen, die aus den Abtastelementen abgreifbar sind, verglichen werden. Identifizierungsmethoden mit adaptiven Modellen, insbesondere parallelen Vergleichsmodellen mit einer dem zu untersuchenden System möglichst ähnlichen Struktur sind an sich bekannt (vgl. Unbehauen a.a.O., insbesondere Seite 28ff.). Dies gilt auch für die Methode des kleinsten Fehlerquadrates (vgl. Unbehauen a.a.O.).

In spezieller Ausgestaltung des erfindungsgemäß verwendeten, parallelen und parametrisierten Vergleichsmodells wird die komplexe Funktion

$$(1) \quad z = f(\alpha)$$

einer reellen veränderlichen  $\alpha$  verwendet mit

$$(2) \quad z = x + j \cdot y$$

als komplexe Zahl, wobei

$$(3) \quad j = \sqrt{-1}.$$

So läßt sich die Modellgleichung

$$(4) \quad Z_m = Z_0 + Z_c \cdot e^{j\alpha} + Z_d e^{-j\alpha}$$

ansetzen (vgl. Bronstein-Semendjajev "Taschenbuch der Mathematik", Verlag Harry Deutsch 1973, Seiten 431 - 433). In der Parameterform

$$(5) \quad x = x(\alpha)$$

$$(6) \quad y = y(\alpha)$$

mit

$$(7) \quad Z_m = x_m + jy_m$$

$$(8) \quad Z_0 = x_0 + jy_0$$

$$(9) \quad Z_c = x_c + jy_c$$

$$(10) \quad Z_d = x_d + jy_d$$

und

$$(11) \quad e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$$

$$(12) \quad e^{-j\alpha} = \cos \alpha - j \sin \alpha$$

(vgl. Bronstein a.a.O. Seite 425 und 429) wird über einige Umformungen

$$\begin{aligned}
 (13) \quad x_m + jy_m &= \\
 &= x_o + jy_o + (x_c + jy_c)(\cos\alpha + jsin\alpha) + (x_d + jy_d)(\cos\alpha - jsin\alpha) \\
 &= x_o + jy_o + x_c \cos\alpha + jy_c \cos\alpha + x_c jsin\alpha - y_c sin\alpha \\
 &\quad + x_d \cos\alpha + jy_d \cos\alpha - x_d jsin\alpha + y_d sin\alpha
 \end{aligned}$$

$$(14) \quad x_m = x_o + x_c \cos\alpha - y_c \sin\alpha + x_d \cos\alpha + y_d \sin\alpha$$

$$(15) \quad jy_m = j(y_o + y_c \cos\alpha + x_c \sin\alpha + y_d \cos\alpha - x_d \sin\alpha)$$

$$(16) \quad x_m = x_o + (x_c + x_d) \cos\alpha - (y_c - y_d) \sin\alpha$$

$$(17) \quad y_m = y_o + (x_c - x_d) \sin\alpha + (y_c + y_d) \cos\alpha.$$

Mit dieser Methode läßt sich der Meßvorgang bzw. die realen Meßsignale oder wenigstens deren Grundwellen über die mathematische Definition einer Ellipse oder im Spezialfall eines Kreises, identifizieren und gegebenenfalls modellieren bzw. der entsprechend optimierte Parameter-Vektor aufstellen.

Das Vergleichsmodell basiert also nach einer besonders vorteilhaften Ausbildung der Erfindung auf einer allgemeinen Ellipse, die bezüglich des Koordinatenkreuzes im kartesischen Koordinatensystem beliebig liegt und durch Modellgleichungen bzw. den entsprechenden Parametersatz beschrieben ist. Die Adaption des Parametersatzes entsprechend jeder Teilungsmarke bzw. jedes Teilungssegmentes kann bei der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung im Rechensystem zweckmäßig als Hintergrundprozeß mit langsamerer Geschwindigkeit betrieben werden. Zu dessen Aufsetzen bzw. Initialisieren sind dem Rechensystem die Anzahl der Teilungsmarken bzw. die Teilungen pro Längen- oder Winkleinheit einzugeben.

Die Erfindung ist nicht auf die Anwendung mit inkrementalen Positionsgebern beschränkt. An deren Stelle können auch an sich bekannte Drehmelder/Resolver wirkungsgleich eingesetzt werden: Denn der Resolver besitzt im Stator und Rotor je zwei um 90° versetzte Wicklungen als Abtastelemente, so daß sich ebenfalls zwei sinus- und cosinusartige Ausgangssignale ergeben, die von der Winkelstellung des Rotors als Teilungsmarken-Träger abhängen. Im praktischen Einsatz mit der eingangs genannten Meßsignal-Auswertung (vgl. R.D. Klug a.a.O.) ist noch die Trägerfrequenz des Resolvers zu eliminieren.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

Fig. 1 ein Blockschaltbild für eine Anordnung zur Winkelberechnung mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung

Fig. 2 ein mathematisches Strukturschaltbild für das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung,

Fig. 3 und 4 gekrümmte und teilweise erfindungsgemäß modellierte Kurven im kartesischen Koordinatensystem,

Fig. 5 einen Ausschnitt aus Fig. 4 in vergrößerter Darstellung,

Fig. 6 die Absolutposition in einem Teilungssegment.

Gemäß Fig. 1 ist eine Scheibe 1, die an einer (nicht gezeichneten) Welle drehstarr befestigt ist in Rotation versetzt. Sie weist an ihrem Umfang gleichmäßig verteilte Striche auf, die Teilungsmarken 2 bilden und je ein Teilungssegment 3 begrenzen. Diese bewegen sich aufgrund der Rotation der Scheibe 1 an beispielsweise optisch funktionierenden Abtastköpfen 4 vorbei. Indem bei zwei von diesen der Abstand etwa ein Viertel des Abstandes zweier Teilungsmarken auf der Scheibe bzw. Teilungsmarken-Träger 1 beträgt, ergeben sich an deren Ausgängen Meßsignale sin, cos, die zueinander je nach Genauigkeit der Teilung auf dem Teilungsmarken-Träger 1 und/oder des Abstandes der Abtastköpfe 4 voneinander in sinus/cosinusartiger Phasenbeziehung stehen. Eine Impulsformerstufe 5 wandelt diese Signale in entsprechende Rechteck-Pulse um, so daß sie digital weiterverarbeitet, insbesondere in einem Zählerbaustein 6 gezählt werden können.

Eine Analog-/Digitalwandlerstufe 7 wandelt die beiden sinus- und cosinusartigen Meßsignale in jeweils einen Binärwert x, y um, die gemäß obiger Gleichung (2) als komplexe Zahl und/oder als Ellipsen-Koordinaten bezüglich eines kartesischen Koordinatensystems verarbeitet werden können. Diese (digitalisierten) Meßsignale x, y werden einer nach der Erfindung ausgeführten Meß- und Auswertvorrichtung 8 zugeführt, die einen realen Absolutpositionswert  $\alpha^*$  bezüglich den beiden Teilungsmarken 2 eines Teilungs-

segments 3 (vgl. Fig. 6) in einen von Störungen und Ungenauigkeiten adaptiv bereinigten Absolutpositionswert  $\alpha$  korrigiert. Dieser wird dann mit dem Ergebnis des Teilungsmarkenzählers 6, der entsprechend der bei der Umdrehung aufgetretenen Teilungsmarken seinen Zählerstand inkrementiert hat, zum Gesamt-Absolutpositionswert kombiniert. Hierzu ist eine Recheneinheit 9 vorgesehen, die zwei Register 10, 11 und einen Baustein 12 zur Konsistenzüberwachung aufweist. Dieser steuert das konsistente bzw. stellengerechte Ineinanderschieben des den Absolutwert  $\alpha$  darstellenden Binärwerts im ersten Register 10 mit dem die aufgezählten Teilungssegmente bzw. Teilungsmarken darstellenden Binärwert im zweiten Register 11.

Die Meß- und Auswertevorrichtung 8 ist gemäß Fig. 2 mit einem Rechensystem 13 versehen, das eine auf der Basis des Arkus-Tangens arbeitende Auswerteeinheit 14 für die Meßsignale  $x, y$  aufweist. Am Ausgang generiert die Auswerteeinheit 14 das korrigierte Absolut-Positionssignal (bzw. einen entsprechenden Binärwert)  $\alpha$ . Die Meßsignale werden im Rechensystem 13 ferner in zwei Summier- bzw. Vergleichsstellen 15x, 15y mit je einem Ausgangswert  $X_m, Y_m$  eines Vergleichsmodells 16 verglichen bzw. die Modellwerte davon subtrahiert. Die daraus resultierenden Abweichungen  $x, y$  werden in einer Verstärkerstufe 17 durch Multiplikation mit der Konstanten  $K$  in Fehlerwerte  $E_x, E_y$  weiterverarbeitet.

Ferner weist das Rechensystem 13 ein Optimierungs-Rechenmodul 18 auf, dem die Fehlersignale  $E_x, E_y$  zugeführt werden. Ferner werden diesem Modul 18 die Ausgänge eines Sinus- und Cosinusfunktionsgebers 19 zugeführt, der aus dem korrigierten Absolut-Positionssignal  $\alpha$  dessen Sinus und Cosinus errechnet. In dem Optimierungs-Rechenmodul 18 sind in Form einer Matrizenmultiplikation mit dem Fehlervektor  $E_x, E_y$  Empfindlichkeitsfunktionen implementiert, die ein Adaptionsgesetz nach dem Gradienten-Verfahren und der Methode des kleinsten Fehlerquadrats (vgl. Unbehauen a.a.O.) in Verbindung mit der Differenzbildung  $15x, 15y$  realisieren. Am Ausgang des Optimierungs-Rechenmoduls 18 entsteht zunächst ein differentieller Parametervektor  $dX_0, dY_0, dX_c, dX_d, dY_c, dY_d$ . Dieser wird einer Begrenzerstufe 20 zugeführt, welche eine Begrenzung der differentiellen Eingangssignale durchführt. Nach Begrenzung erfolgt eine Aufintegration der differentiellen Parametersignale  $dX_0 - dY_d$  in der Integrierstufe 21. Wird anstelle eines Analogrechners ein Digitalrechner mit numerischen Berechnungsmethoden eingesetzt, dann stellen die Ausgangssignale  $dX_0 \dots dY_d$  des Optimierungs-Rechenmoduls 18 Differenzensignale dar, die in einer etwa wirkungsgleichen Summierstufe 21 aufsummiert werden. Am Ausgang dieser Integrier- bzw. Summierstufe 21 steht dann der adaptierte Parametervektor bzw. -satz  $X_0, Y_0, X_c, X_d, Y_c, Y_d$  an, der sowohl der Auswerteeinheit 14 als auch dem Vergleichsmodell 16 jeweils als Eingangsparameter zugeführt wird. Dem Vergleichsmodell 16 werden ferner noch die Ausgänge des Sinus- und Cosinusfunktionsgebers 19 mit den entsprechenden Funktionswerten des Sinus und Cosinus der korrigierten Absolut-Position  $\alpha$  direkt zugeführt. Das Vergleichsmodell 16 verarbeitet den Parametervektor bzw. -satz  $X_0 \dots Y_d$  sowie den Sinus und den Cosinus der korrigierten Absolut-Position  $\alpha$  entsprechend der obigen Gleichung (16) (Realteil) und (17) (Imaginärteil). Real- und Imaginärteil  $X_m, Y_m$  werden dann den jeweiligen Vergleichsstellen  $15X, 15Y$  mit negativem Vorzeichen zugeführt. Der Rechenprozeß für das Vergleichsmodell 16 kann im Rechensystem im Rahmen eines langsameren Hintergrundprozesses ablaufen. Zur schnellen "on-line"-Berechnung des korrigierten Absolut-Positionswertes  $\alpha$  wird gesetzt:

$$(18) \quad x = x_0 + (x_c + x_d) \cos \alpha - (y_c - y_d) \sin \alpha$$

$$(19) \quad y = y_0 + (x_c - x_d) \sin \alpha + (y_c + y_d) \cos \alpha$$

woraus nach Umformung

$$(20) \quad (X_c + x_d) \cos \alpha - (y_c - y_d) \sin \alpha = x - x_0$$

$$(21) \quad (y_c + y_d) \cos \alpha + (x_c - x_d) \sin \alpha = y - y_0$$

entsteht.

Dieses lineare Gleichungssystem für die beiden unbekannten Cosinus  $\alpha$  und Sinus  $\alpha$  ergibt nach bekannter Auflösungsmethode (vgl. Bronstein a.a.O. Seite 127)

$$(22) \cos \alpha = \frac{D_1}{D}$$

$$(23) \sin \alpha = \frac{D_2}{D}$$

oder sofort

$$(24) \tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{D_2}{D_1}$$

Dabei sind die Determinanten

$$(25) D_2 = (x_c + x_d)(y - y_o) - (y_c - y_d)(x - x_o)$$

$$(26) D_1 = (x_c - x_d)(x - x_o) + (y_c - y_d)(y - y_o).$$

Damit ergibt sich die Absolut-Position als gesuchte Veränderliche in wie folgt korrigierter Fassung:

$$(27) \alpha = \arctan \frac{(x_c + x_d)(y - y_o) - (y_c - y_d)(x - x_o)}{(x_c - x_d)(x - x_o) + (y_c - y_d)(y - y_o)}$$

Zur Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Meß- und Auswertesystems sei noch folgendes ausgeführt:

Das (gegebenenfalls bei Einsatz eines Digitalrechners statt eines Analogrechners digitalisierte) Meßsignal-Wertepaar X,Y bestimmt die Absolut-Position innerhalb eines Teilungssegmentes 3 zwischen zwei Teilungsmarken 2, die als ungenaues bzw. gestörtes Absolut-Positionssignal  $\alpha'$  vorliegt. Das Teilungssegment 3 bildet dabei eine Periode bzw. einen Zyklus. Ziel ist es nun, eine feine Unterteilung zwischen den beiden Teilungsmarken 2 zwecks höherer Auflösung zu erzeugen, ohne daß konstruktiv eine Feineinteilung zwischen den Teilungsmarken 2 angebracht werden muß.

Mit dem von den beiden Abtastköpfen 4 gelieferten Meßsignal-Paar X,Y lassen sich insbesondere geschlossene Kurven in mathematisch komplexer Form darstellen (vgl. Bronstein a.a.O. Seiten 432 und 433). In der Realität könnte man sich den mit Störungen und Ungenauigkeiten behafteten Absolutwert  $\alpha'$ , verteilt zwischen den beiden Teilungsmarken 2, entsprechend der unregelmäßig gekrümmten Kurve Z (durchgezogene Linie) in Fig. 4 darstellen. In dieser unregelmäßig gekrümmten Kurve Z sind insbesondere folgende Störungen bzw. Ungenauigkeiten enthalten: Verschiebung aus dem Koordinatenursprung bzw. Nullpunkt des kartesischen Koordinatenkreuzes, was beispielsweise auf einen elektrischen Offset beruhen kann; Verzerrung des an sich im Idealfall vorliegenden Kreises aufgrund schwankenden Amplitudenverhältnisses der Meßsignale aus den beiden Abtastköpfen 4; Schwankungen und Störungen im gegenseitigen Winkel- bzw. Phasenbezug der beiden Meßsignale X,Y aus den Abtastköpfen, was zur Verdrehung der Ellipse bzw. deren Achsen gegenüber dem Koordinatenkreuz führt. Diese Meßwert-Verfälschungen treten meist kombiniert auf.

Die Strategie besteht nun darin, das Meßsignal Z im Vergleichsmodell 16 so zu interpretieren, daß sich die genannten Verzerrungen aufgrund der obigen Störeinflüsse und Ungenauigkeiten auf eine im kartesischen Koordinatenkreuz beliebige, gegebenenfalls gedrehte und versetzte Ellipse reduzieren. Dies ist in Fig. 3 veranschaulicht, wonach der Vergleichsmodellausgang  $Z_m$  eine solche Ellipse beschreibt. Wäre die Messung ideal, würde diese Ellipse sich auf einen Kreis mit dem Radius = 1 reduzieren, dessen Mittelpunkt im Koordinatenursprung liegt (Einheitskreis). Erfindungsgemäß wird nun die allgemein liegende, in komplexer Form  $Z_m$  beschreibbare Ellipse gesucht, die dem Meßsignal Z gemäß obiger Gleichung (2)

am besten entspricht. Dies ist in Fig. 4 durch Überlagerung der Modellkurve  $Z_m$  der real gemessenen Kurve  $Z$  veranschaulicht. Gemäß Fig. 5 wird als Kriterium für die der Realmessung  $Z$  am besten entsprechende Modellkurve  $Z_m$  die Methode des kleinsten Fehlerquadrats (Gütefunktional - vgl. Unbehauen a.a.O.) verwendet. Danach soll das Gütefunktional

$$(28) \quad \epsilon^2 = \epsilon^2x + \epsilon^2y = \text{Min}$$

(vgl. Fig. 5) möglichst klein sein, was der der unregelmäßig gekrümmten Kurve  $Z$  am nächsten liegenden Modell-Ellipse  $Z_m$  entspricht. Hierzu ist eine optimale Anpassung bzw. ein ständiger Abgleich des Vergleichsmodells 16 (vgl. Fig. 2) notwendig. Dies wird mittels des Optimierungs-Rechenmoduls 18 erreicht, der mittels Empfindlichkeitsfunktionen partielle Ableitungen bezüglich der Änderungen der Meßvorgangsparameter bildet. Der nach Integration 21 entstandene Parametersatz  $x_0 \dots y_d$  dient dann einerseits zur Aktualisierung des Vergleichsmodells 16. Andererseits wird die allgemein liegende Ellipse  $Z_m$  gemäß Fig. 3 durch die im Rahmen des Arkus-Tangens erfolgende Korrektur-Rechenregel der Auswerteeinheit 14 in einen Ursprungskreis transformiert. Ellipsen-Transformationsgleichungen sind grundsätzlich bekannt (vgl. Bronstein, a.a.O., Seiten 182, 183). Die Parameter  $x_0$  und  $y_0$  repräsentieren im Ausführungsbeispiel die Parallel- bzw. Nullpunktverschiebung. Die sonstigen Parameter  $X_c \dots Y_d$  dienen der Ellipsendarstellung und sind im Idealfall bzw. ganz am Anfang außer  $X_c$  gleich Null zu setzen (vgl. in Fig. 2 Anfangsbedingungen, wobei  $X_c = 1$  den Radius des idealen Ursprungskreises symbolisiert).

Das so korrigierte Absolutpositionssignal  $\alpha$  bildet dann ein hochgenaues, hochaktuelles Meßsignal, welches beispielsweise als Lageregelssignal in Druckmaschinen-Direktantriebe verwendet werden kann. Dabei ist gleichsam eine Teilungsvervielfachung entstanden, ohne daß die Anzahl der Teilungsmarken 2 erhöht wurde. Als reelle Veränderliche einer komplexen Funktion  $Z(\alpha)$  unterteilt nämlich das Absolutpositionssignal  $\alpha$  die Ellipsenkurve bzw. das Teilungssegment 3 zwischen den beiden Teilungsmarken 2.

#### Patentansprüche

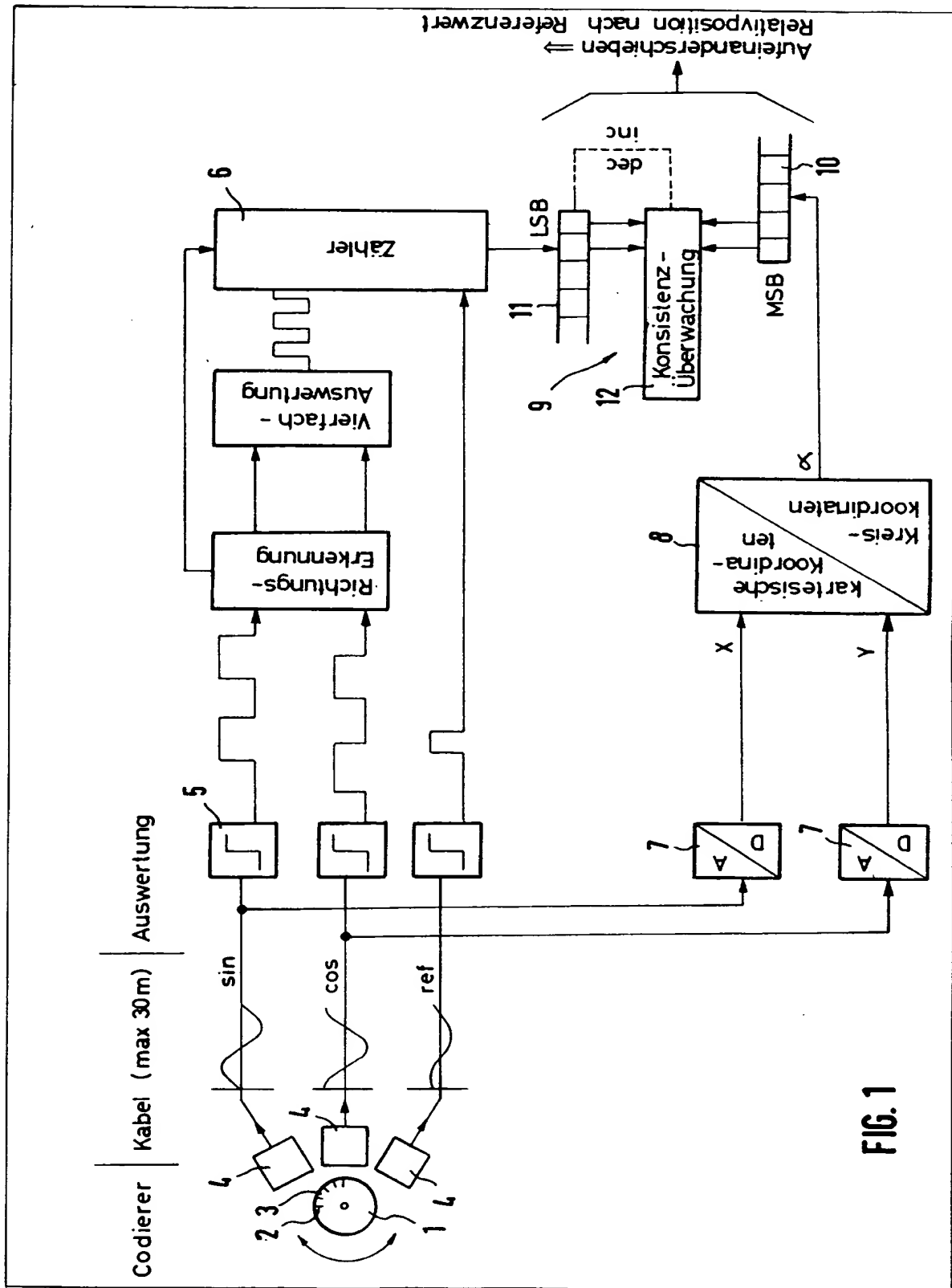
1. Verfahren zur Messung der Absolutposition ( $\alpha$ ) des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers (1) eines inkrementalen Positionsgebers oder Drehmelders/Resolvers innerhalb und/oder bezüglich eines seiner Teilungssegmente (3), die periodisch von den Teilungsmarken (2) auf dem Träger (1) gebildet und/oder begrenzt sind, mit zwei gegenüber dem Träger (1) ortsfest angeordneten und auf die Teilungsmarken ansprechenden Abtastelementen (4), die in einem derartigen, auf die Länge beziehungsweise den Umfang des Segments (3) bezogenen Abstand voneinander angeordnet sind, daß sie zwei sinus- und cosinusartige Meßsignale ( $x, y$ ) ausgeben, die zur Positions-Ermittlung ( $\alpha$ ) auf der Basis der Arkustangens-Funktion ausgewertet werden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Korrektur der Auswertung gegenüber Störungen und Ungenauigkeiten im Positionsgeber die Werte beziehungsweise Komponenten eines den Meßvorgang identifizierenden Parametervektors ( $X_0, Y_0, X_c, Y_c, X_d, Y_d$ ) verwendet werden, der während des laufenden Meßbetriebs ständig nach vorbestimmten Optimierungskriterien neu bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierungskriterien eine, insbesondere nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrats ( $\Sigma^2$ ) und/oder einem Gradientenverfahren, gegebenenfalls mit Empfindlichkeitsanalyse (18), arbeitende Adaptionsrechenregel umfassen, mittels deren der Parametervektor ( $X_0, Y_0, X_c, Y_c, X_d, Y_d$ ) ständig abgeglichen beziehungsweise an den aktuellen Meßprozeß angepaßt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zum laufenden Meßbetrieb ein mathematisches Modell (16), beispielsweise in Form einer komplexen Funktion ( $Z_m$ ) der Absolutposition ( $\alpha$ ), von dem Meßvorgang berechnet und anhand der korrigierten Positionswerte ( $\alpha$ ) und/oder des Parametervektors ( $X_0, Y_0, X_c, Y_c, X_d, Y_d$ ) laufend aktualisiert wird, und zur Optimierung dessen Ausgangswerte ( $x_m, y_m, Z_m$ ) mit den Meßsignalen ( $x, y$ ) aus den Abtastelementen verglichen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Vergleichsergebnis ( $x, y$ ), gegebenenfalls zusammen mit dem (den) korrigierten Positionswert(en) ( $\alpha$ ), als Eingangswert(e) für die Adaptionsrechenregel verwendet werden.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Identifikation und gegebenenfalls Modellierung des Meßvorganges ( $Z$ ) beziehungsweise der Meßsignale ( $x, y$ ) oder

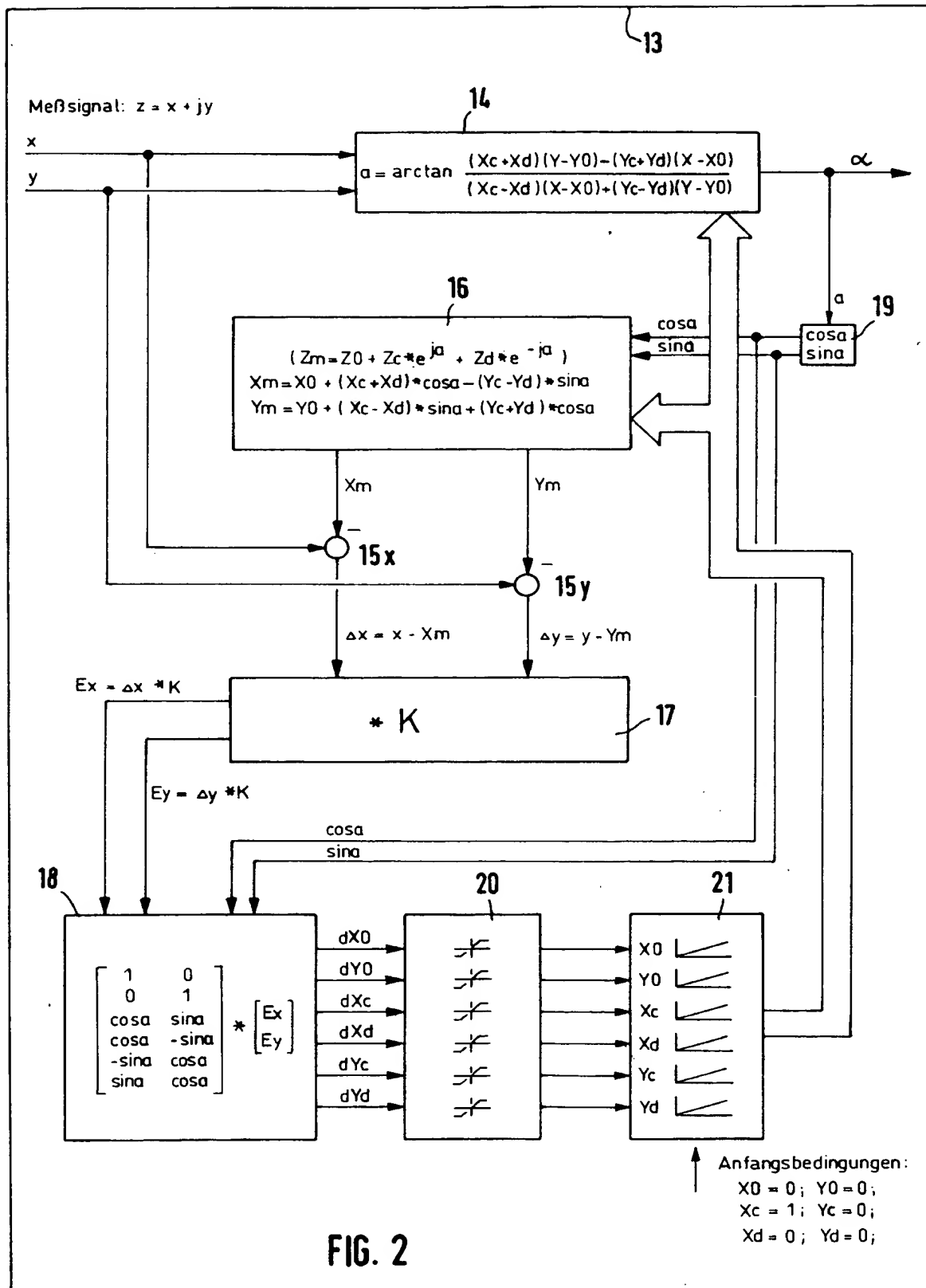
wenigstens von deren Grundwellen der optimierte Parametervektor ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) und gegebenenfalls mathematische Gleichungen verwendet werden, der und gegebenenfalls die zur mathematischen Definition einer Ellipse ( $Z_m$ ) oder eines Kreises strukturiert sind.

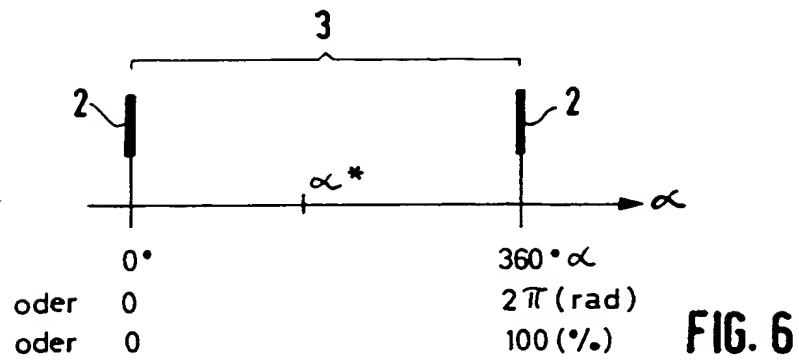
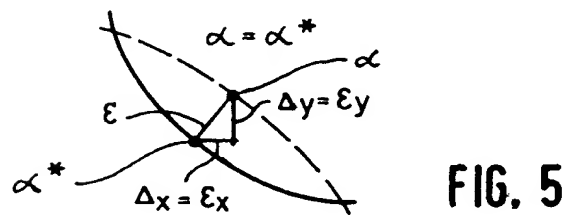
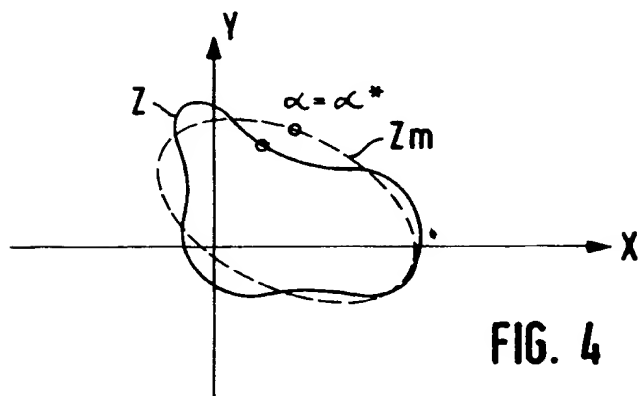
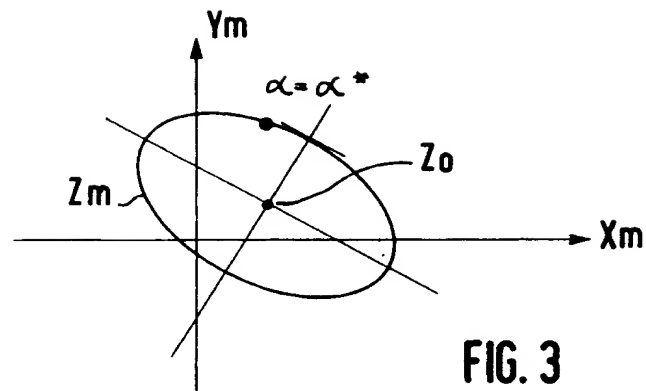
- 5 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Positionsermittlung die Meßsignale ( $x,y$ ) zur Korrektur ihrer Auswertung mit dem Parametervektor ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) und/oder den Gleichungen mathematisch verknüpft werden.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Komponenten des Parametervektors ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) und aus den Meßsignalen ( $x,y$ ) entsprechenden Werten ein Gleichungssystem zur Bestimmung des Sinus und des Cosinus der Absolutposition gebildet wird, und aus diesen über die Arkustangensfunktion der Wert für die Absolutposition ( $\alpha$ ) errechnet wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Korrektur der Meßsignal-Auswertung eine Verschiebung des kartesischen Koordinatenursprungs in den Kurvenmittelpunkt der Ellipse ( $Z_m$ ), und/oder eine Drehung des kartesischen Koordinatenkreuzes entsprechend den sich kreuzenden Achsen der Ellipse ( $Z_m$ ), und/oder eine Angleichung der Ellipsenachsen aneinander zur Bildung eines Kreises jeweils über mathematische Transformationen und/oder Verknüpfung der Ellipsenparameter ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) mit den Meßsignalen ( $x,y$ ) durchgeführt werden.
- 20 9. Vorrichtung zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers (1) eines inkrementalen Positiongebers oder Drehmolders/Resolvers innerhalb und/oder bezüglich eines seiner Teilungssegmente (3), die von den Teilungsmarken (2) periodisch gebildet und/oder begrenzt werden, mit zwei gegenüber dem Träger (1) ortsfest angeordneten und auf die Teilungsmarken (2) ansprechenden Abtastelementen (4), die in einem derartigen, auf die Länge beziehungsweise den Umfang des Segments (3) bezogenen Abstand voneinander angeordnet sind, daß sie zwei sinus- und cosinusartige Meßsignale ( $x,y$ ) ausgeben, mit einem Rechensystem (13), das eine die Meßsignale ( $x,y$ ) aufnehmende Auswerteeinheit (14) aufweist, in der diese zur Ermittlung der Absolutposition ( $\alpha$ ) auf der Basis der Arkustangens-Funktion verrechnet werden, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Rechensystem eine Filter- und/oder Adaptionseinheit aufweist, die eingangsseitig parallel zur Auswerteeinheit (14) mit den Meßsignalen ( $x,y$ ) und ausgangsseitig mit der Auswerteeinheit (14) zur Übertragung von Adaptivmeßsignalen ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) verbunden ist, die nach einer in der Adaptionseinheit implementierten Adaptionsrechenregel abhängig von den Meßsignalen ( $x,y$ ) generiert werden, und daß in der Auswerteeinheit (14) die Adaptivmeßsignale nach einer Korrekturrechenregel mit den Meßsignalen verknüpft werden.
- 25 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß in der Adaptionseinheit ein parametrisiertes Vergleichsmodell (16) implementiert ist, das eingangsseitig mit dem Ausgang der Auswerteeinheit (14) und den Adaptivmeßsignalen ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) zur Nachstellung seiner Parameter gekoppelt und dazu ausgebildet ist, abhängig vom korrigierten Absolutpositionssignal ( $\alpha$ ) den Positionsmeßvorgang rechnerisch nachzumodellieren.
- 30 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch eine Vergleicherstufe (15X,15Y), die mit dem Ausgang des Vergleichsmodells (16) und dem Ausgang ( $x,y$ ) des Positionsgabers zur Bildung von Differenz- und/oder Fehlersignalen ( $\Delta x, \Delta y; E_x, E_y$ ) verbunden ist.
- 35 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleicherstufe (15X,15Y) eine Multiplikations- oder Verstärkerstufe (17) nachgeschaltet ist.
- 40 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Adaptionseinheit ein Optimierungs-Rechenmodul (18) aufweist, das, gegebenenfalls indirekt, eingangsseitig mit den Meßsignalen ( $x,y$ ) und/oder dem korrigierten Absolutpositionssignal ( $\alpha$ ) und ausgangsseitig mit der Auswerteeinheit (14) gekoppelt ist, und in dem eine Optimierungsrechenregel implementiert ist.
- 45 14. Vorrichtung nach Anspruch 13 und einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Optimierungs-Rechenmodul (18) eingangsseitig mit dem Ausgang der Vergleichers- oder Multiplikationsbeziehungsweise Verstärkerstufe (17) verbunden ist.
- 50
- 55



15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Optimierungs-Rechenmodul (18) ein Gradientenverfahren beziehungsweise eine oder mehrere Empfindlichkeitsfunktionen als Optimierungs-rechenregel implementiert sind, so daß am Ausgang des Optimierungs-Rechenmoduls eine oder mehrere Differenzen- oder differentielle Signale ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) anstehen, und daß diese in einer nachgeschalteten und mit der Auswerteeinheit (14) verbundenen Integrier- oder Summierstufe (21) zu den Adaptivmeßsignalen ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $X_d$ ,  $Y_d$ ) für die Auswerteeinheit (14) und/oder das Vergleichsmodell (16) aufintegriert und/oder aufsummiert werden.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, gekennzeichnet durch eine Tiefpaß- oder Begrenzerstufe (20), die dem Optimierungsrechenmodul (18) und der Summier- oder Integrierstufe (21) zwischen- oder nachgeschaltet ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, gekennzeichnet durch einen Teilungsmarkenzähler (6), dessen Ausgang mit dem Ausgang der Auswerteeinheit (8;14) über eine Recheneinheit (9) zur Bildung der Gesamt-Absolutposition gekoppelt ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit ein Summierglied für die korrigierte Absolutposition ( $\alpha$ ) aus der Auswerteeinheit (14) und das Zählergebnis aus dem Teilungsmarkenzähler und ein nachgeschaltetes, auf die Teilungsmarken-Gesamtzahl eingestelltes Dividierglied oder wenigstens zwei Werte-Register (10,11) aufweist, die mit je einem Ausgang der Auswerteeinheit (14) und des Teilungsmarkenzählers (6) verbunden und zum konsistenten Ineinander-schieben von Werte-, insbesondere Binärstellen, ausgebildet und/oder mit einer Konsistenzsteuerung (12) versehen sind.







(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 643 285 A3

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(88) Veröffentlichungstag A3:  
30.07.1997 Patentblatt 1997/31

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01D 5/244, G01P 13/04

(43) Veröffentlichungstag A2:  
15.03.1995 Patentblatt 1995/11

(21) Anmeldenummer: 94111433.2

(22) Anmeldetag: 22.07.1994

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH DE ES FR GB IT LI

(72) Erfinder: Götz, Fritz Rainer, Dr. Ing.  
D-90522 Oberasbach (DE)

(30) Priorität: 14.09.1993 DE 4331151

(74) Vertreter: Matschkur, Götz, Lindner  
Patent- und Rechtsanwälte  
Postfach 11 91 09  
90101 Nürnberg (DE)

(71) Anmelder: BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH  
D-90482 Nürnberg (DE)

(54) System zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers eines inkrementalen Positionsgebers

(57) Verfahren zur Messung der Absolutposition des beweglichen, zyklischen Teilungsmarken-Trägers eines inkrementalen Positionsgebers oder Drehmehlers/Resolvers innerhalb und/oder bezüglich eines seiner Teilungssegmente, die periodisch von den Teilungsmarken auf dem Träger gebildet und/oder begrenzt sind, mit zwei gegenüber dem Träger ortsfest angeordneten und auf die Teilungsmarken ansprechenden Abtastelementen, die in einem derartigen, auf die Länge beziehungsweise den Umfang des Segments bezogenen Abstand voneinander angeordnet sind, daß

sie zwei sinus- und cosinusartige Meßsignale ausgeben, die zur Positions-Ermittlung auf der Basis der Arkustangenz-Funktion ausgewertet werden, indem zur Korrektur der Auswertung gegenüber Störungen und Ungenauigkeiten im Positionsgeber die Werte beziehungsweise Komponenten eines den Meßvorgang identifizierenden Parametervektors verwendet werden, der während des laufenden Meßbetriebs ständig nach vorbestimmten Optimierungskriterien neu bestimmt wird.

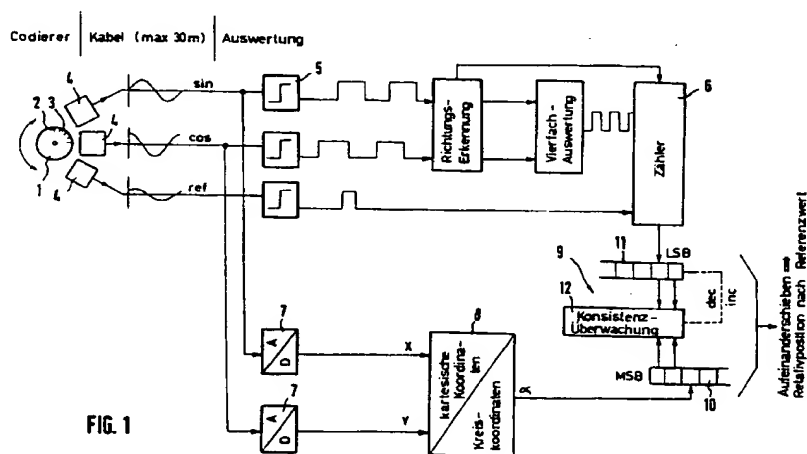


FIG. 1

EP 0 643 285 A3



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 11 1433

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	DE 41 00 666 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES) 14.Mai 1992 * Spalte 1, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 33; Abbildungen 1-3 *	1,9	G01D5/244 G01P13/04
A	US 5 202 842 A (SUZUKI MASUMI) 13.April 1993 * das ganze Dokument *	1,9	
A	EP 0 450 829 A (TEXAS INSTRUMENTS INC) 9.Oktober 1991 * Spalte 4, Zeile 15 - Spalte 8, Zeile 47; Abbildungen 1-3 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			G01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchemant DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 5.Juni 1997	Prüfer Chapple, I
<p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</p> <p>&amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 01.82 (P4/C01)